

## ОТЗЫВ

### официального рецензента на диссертационную работу

**Касымбаева Алексея Валерьевича на тему «Исследование микроструктуры и трибо-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «8D05301 – Техническая физика»**

| №п/п | Критерии                                                                                                                                  | Соответствие критериям<br>(необходимо отметить один из вариантов ответа)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Обоснование позиции официального рецензента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.   | Тема диссертации<br>(на дату ее утверждения)<br>соответствует<br>направленным<br>развития науки<br>и/или<br>государственным<br>программам | 1.1 Соответствие приоритетным<br>направлениям развития науки или<br>государственным программам:<br><br>1) Диссертация выполнена в<br>рамках проекта или целевой<br>программы,<br>финансируемого(ой) из<br>государственного бюджета<br>(указать название и номер<br>проекта или программы)<br>2) Диссертация выполнена в<br>рамках другой государственной<br>программы (указать название<br>программы)<br>3) Диссертация соответствует<br>приоритетному направлению<br>развития науки, утвержденному<br>Высшей научно-технической<br>комиссией при Правительстве<br>Республики Казахстан (указать<br>направление) | Диссертационное исследование соответствует приоритетному<br>направлению «Научные исследования в области естественных наук»<br><br>Часть работы выполнена в рамках проектов грантового финансирования<br>фундаментальных и прикладных научных исследований молодых<br>ученых-постдокторантов по проекту «Жас гильям» на 2024-2026 гг.<br>«Новые высокотехнологичные, коррозионно- и износостойкие многослойные<br>покрытия TiAlN/Si» ИРН «AP22684071», а также программы целевого<br>финансирования «Работа и реализации конкурентоспособных<br>научно-оборудованных технологий для обеспечения устойчивого развития<br>горно-металлургической отрасли Восточно-Казахстанской области» ИРН<br>«BR24992854». |
| 2.   | Важность для<br>науки                                                                                                                     | Работа вносит/не вносит<br>существенный вклад в науку, а ее                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Работа вносит существенный вклад в науку, поскольку впервые<br>устанавливает фундаментальные физические закономерности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



|    |                              |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                              | важность хорошо раскрыта/не раскрыта                                                                                                                                                                                                             | формирования структуры и свойств перспективных многокомпонентных нитридных покрытий, синтезированных в неравновесных условиях плазмы. Важность работы хорошо раскрыта через выявление конкретных механизмов синергетического упрочнения в системе W/NbN, изучении эволюции текстуры в зависимости от параметров осаждения и установление немонотонной зависимости свойств от толщины в градиентных покрытиях, что решает актуальные проблемы физики поверхности и создает научную основу для новых плазменных технологий.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3. | Принцип самостоятельности    | Уровень самостоятельности:<br>1) <b>Высокий;</b><br>2) Средний;<br>3) Низкий;<br>4) Самостоятельности нет                                                                                                                                        | Уровень самостоятельности докторанта является высоким, что подтверждается его непосредственным участием в планировании и проведении экспериментов по синтезу покрытий, выполнении трибологических и механических испытаний, самостоятельном анализе данных рентгеновской дифракции и микроскопии, а также ведущей роли в интерпретации результатов, подготовке текстов и графических материалов для научных публикаций, что в совокупности демонстрирует его полную авторскую и исполнительскую самостоятельность на всех этапах исследования.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4. | Принцип внутреннего единства | 4.1 Обоснование актуальности диссертации:<br>1) <b>Обоснована;</b><br>2) Частично обоснована;<br>3) Не обоснована<br><br>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:<br>1) <b>Отражает;</b><br>2) Частично отражает;<br>3) Не отражает | Актуальность диссертации является обоснованной, поскольку автор четко обозначает существующий дефицит знаний о физических механизмах, определяющих фазообразование и релаксацию напряжений в сложных многокомпонентных системах под воздействием ионных потоков, и аргументирует необходимость решения этих проблем для создания научной основы новых плазменных технологий, что соответствует приоритетам развития физико-технических наук и задачам импортозамещения.<br><br>Содержание диссертации полностью отражает тему, так как все разделы работы - от постановки целей и задач до представления результатов и выводов - последовательно и всесторонне раскрывают исследование микроструктуры и трибо-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий, без отклонений от заявленной научной проблематики. |



|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | <p>4.3. Цель и задачи диссертационного исследования полностью соответствуют теме диссертации:<br/> <b>1) соответствуют;</b><br/> 2) частично соответствуют;<br/> 3) не соответствуют</p>                                                                                           | <p>Цель и задачи диссертационного исследования полностью соответствуют теме, поскольку цель, направленная на выявление физических закономерностей влияния параметров осаждения на структуру и свойства покрытий, логически вытекает из темы, а поставленные задачи являются конкретными, проверяемыми и охватывают все необходимые аспекты для её достижения, включая синтез, анализ микроструктуры и исследование свойств.</p>                                                                     |
|                             | <p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:<br/> <b>1) полностью взаимосвязаны;</b><br/> 2) взаимосвязь частичная;<br/> 3) взаимосвязь отсутствует</p>                                                                                                     | <p>Все разделы и положения диссертационного исследования являются полностью логически взаимосвязанными, что проявляется в четкой сквозной структуре работы: актуальность обуславливает цель и задачи, которые решаются комплексом методов; полученные результаты непосредственно отвечают на поставленные задачи и подтверждают выносимые на защиту положения, а выводы обобщают установленные закономерности, демонстрируя целостность и стройность исследования.</p>                              |
|                             | <p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:<br/> <b>1) критический анализ есть;</b><br/> 2) анализ частичный;<br/> 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</p> | <p>Предложенные автором новые решения аргументированы и подкреплены критическим анализом, поскольку автор не ограничивается цитированием литературы, а проводит прямое сравнительное экспериментальное исследование нескольких многоослойных систем в идентичных условиях, что позволяет объективно оценить преимущества новой системы <math>W/N/NbN</math> и выявить физические причины её рекордных характеристик на основе собственных данных, а не только на основе мнений других авторов.</p>  |
| 5. Принципы научной новизны | <p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?<br/> <b>1) полностью новые;</b><br/> 2) частично новые (новыми являются 25-75%);<br/> 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>                                                                                           | <p>Научные результаты и положения являются полностью новыми, так как в работе впервые выявлены и описаны физические механизмы синергетического упрочнения в системе <math>W/N/NbN</math>, установлены закономерности влияния толщины на свойства покрытий <math>TiAl(Si)N</math>, обнаружена эволюция кристаллографической текстуры в зависимости от параметров осаждения и впервые охарактеризованы многоослойные покрытия <math>W/N/MoN</math>, что подтверждается формулировками "впервые" в</p> |



|    |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>                                                                     | <p>разделе научной новизны и количественными результатами, не имеющими аналогов в известных литературных источниках.</p> <p>Выводы являются полностью новыми, поскольку они основаны на оригинальных экспериментальных данных и содержат установленные впервые количественные закономерности, такие как рекордно низкая скорость изнашивания системы W/N/NbN (<math>1.7 \times 10^{-6} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})</math>), оптимальная толщина 600 нм для градиентных покрытий TiAl(Si)N с максимальной твердостью 38 ГПа, и выявленное влияние потенциала смещения на фазовый состав и текстуру, что в совокупности формирует принципиально новые научные положения, ранее не описанные в литературе.</p> |
|    | <p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p> | <p>Технические и технологические решения являются полностью новыми и обоснованными, так как работа предлагает новые режимы ионно-плазменного осаждения (например, оптимальное напряжение смещения - 200 В для W/N/NbN и толщину 600 нм для TiAl(Si)N), которые позволяют целенаправленно получать покрытия с предельными характеристиками для применения в инструментальной, авиационной и энергетической отраслях, а экономическая значимость подтверждается возможностью импортозамещения и увеличения срока службы промышленного оборудования за счет внедрения разработанных покрытий.</p>                                                                                                                         |
| 6. | <p>Обоснованность основных выводов</p>                                                                                                                                                                                                                 | <p>Все основные выводы <b>основаны</b>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

| 7. | Основные положения, выносимые на защиту | Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:<br>7.1 Доказано ли положение?<br>1) <b>доказано</b> ;<br>2) скорее доказано;<br>3) скорее не доказано;<br>4) не доказано<br>7.2 Является ли тривиальным?<br>1) да;<br>2) <b>нет</b><br>7.3 Является ли новым?<br>1) да<br>2) <b>нет</b><br>7.4 Уровень для применения:<br>1) узкий;<br>2) средний;<br>3) <b>широкий</b><br>7.5 Доказано ли в статье?<br>1) да<br>2) <b>нет</b> | № 1 Исследованы многослойные покрытия W <sub>N</sub> /Me <sub>N</sub> (Me = Cr, Zr, Mo, Nb), полученные методом катодно-дугового физического осаждения (CA-PVD). Установлено, что система W <sub>N</sub> /Nb <sub>N</sub> имеет более низкий показатель скорости износа покрытия (1.7×10 <sup>-6</sup> мм <sup>3</sup> /Н·м) по сравнению с системами W <sub>N</sub> /Zr <sub>N</sub> , W <sub>N</sub> /Cr, W <sub>N</sub> /Mo <sub>N</sub> и превосходит их в ~200, 6.5 и 5 раз, соответственно;<br>7.1 Доказано ли положение?<br>1) <b>доказано</b> ;<br>7.2 Является ли тривиальным?<br>2) <b>нет</b><br>7.3 Является ли новым?<br>1) да<br>7.4 Уровень для применения:<br>3) <b>широкий</b><br>7.5 Доказано ли в статье?<br>1) да<br>№ 2 Выявлено, что увеличение потенциала смещения приводит к увеличению размера зерен фаз β-W <sub>2</sub> N, ε-Nb <sub>3</sub> N, δ-Nb <sub>3</sub> N, а также уменьшению остаточного напряжения покрытий W <sub>N</sub> /Nb <sub>N</sub> .<br>7.1 Доказано ли положение?<br>1) <b>доказано</b> ;<br>7.2 Является ли тривиальным?<br>2) <b>нет</b><br>7.3 Является ли новым?<br>1) да<br>7.4 Уровень для применения:<br>3) <b>широкий</b><br>7.5 Доказано ли в статье?<br>1) да<br>№ 3 Определено, что увеличение толщины покрытия с градиентным составом TiAl(Si)N до 600 нм имеет влияние на их микроструктуру и увеличивает твердость покрытия до 38 ГПа. |
|----|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|----|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>7.1 Показано ли положение?<br/><b>1) доказано;</b><br/>7.2 Является ли тривиальным?<br/><b>2) нет</b><br/>7.3 Является ли новым?<br/>1) да<br/>7.4 Уровень для применения:<br/><b>3) широкий</b><br/>7.5 Доказано ли в статье?<br/>1) да</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 8. | <p>Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Методология исследования является обоснованной и подробно описана в работе. В диссертации четко указаны методы синтеза покрытий (CA-PVD, магнетронное распыление), а также комплекс современных методов анализа (РЭМ, ПЭМ, РДА, наноидентифицирование, трибологические испытания), что позволяет считать выбор методологии научно обоснованным и соответствующим поставленным задачам.</p> <p>Результаты работы получены с использованием современных методов, таких как просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ), рентгеновская дифракция (РДА), наноидентифицирование, а также трибологические испытания на системе "шар-на-диске". Обработка и интерпретация данных проводилась с применением специализированного программного обеспечения, что соответствует современным стандартам научных исследований.</p> |
|    | <p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана<br/><b>1) да</b><br/>2) нет</p> <p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:<br/><b>1) Да</b><br/>2) нет</p> <p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим</p> | <p>Все теоретические выводы, включая взаимосвязь между параметрами осаждения, микроструктурой и свойствами покрытий, подтверждены экспериментальными данными. Например, установление рекордной износостойкости системы WN/NbN и влияния толщины на свойства TiAl(Si)N основано на результатах, полученных с использованием РЭМ, ПЭМ, РДА и механических испытаний.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>научным результатам доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p>1) да</p> <p>2) нет</p>                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|    | <p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p> <p>8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора</p>                                               | <p>Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную научную литературу, что демонстрирует глубокое понимание автором текущего состояния исследований в области многокомпонентных покрытий и их свойств. В работе также присутствуют ссылки на публикации автора в международных рецензируемых журналах.</p> <p>Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора, так как автор ссылается на релевантные и современные научные работы, включая статьи в международных журналах с высоким импакт-фактором, что обеспечивает comprehensive анализ текущих достижений в области исследования нитридных покрытий.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 9. | <p>Принципы практической ценности</p> <p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) да</p> <p>2) нет</p> <p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и способствует высокой вероятности применения полученных результатов на практике:</p> <p>1) да</p> <p>2) нет</p> | <p>Диссертационное исследование имеет значительное теоретическое значение, так как впервые устанавливает фундаментальные физические закономерности формирования структуры и свойств многокомпонентных нитридных покрытий, выявляет механизмы синергетического упрочнения в системе W/N/NbN и устанавливает взаимосвязи между параметрами осаждения, кинетикой роста и функциональными свойствами покрытий, внося вклад в развитие физики конденсированного состояния и физики поверхности.</p> <p>Диссертационное исследование имеет практическое значение, а вероятность применения результатов высока, поскольку разработанные покрытия с рекордными трибомеханическими характеристиками (например, система W/N/NbN с износостойкостью <math>1.7 \times 10^{-6} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})</math>) могут быть использованы для создания инструментов и компонентов в машиностроении, авиационной, автомобильной и энергетической отраслях, а также в медицинских имплантатах, что подтверждается конкретными примерами потенциального внедрения.</p> |



|     |                                 |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                 | 9.3 Предложения для практики являются новыми?<br><b>полностью новые;</b><br>частично новые (новыми являются 25-75%);<br>не новые (новыми являются менее 25%) | Полностью новые, так как работа предлагает оригинальные технологические решения, включая оптимальные режимы осаждения (напряжение смещения -200 В для $W/N/NbN$ , толщина 600 нм для $TiAl(Si)N$ ), которые ранее не описывались в научной литературе и позволяют целенаправленно создавать покрытия с предельными характеристиками для работы в экстремальных условиях.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 10. | Качество написания и оформления | Качество академического письма:<br>1) <b>высокое;</b><br>2) среднее;<br>3) ниже среднего;<br>4) низкое.                                                      | Высокое, что проявляется в логичной структуре работы, четком и последовательном изложении материала, корректном использовании научной терминологии, а также в профессиональном оформлении текста, графиков и таблиц, соответствующих требованиям к научным публикациям.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 11  | Замечания к диссертации         |                                                                                                                                                              | Несмотря на высокий научный уровень исследования и значимость полученных результатов, диссертационная работа имеет несколько несущественных замечаний, не влияющих на общую оценку работы:<br>В статье по $W/N/MeN$ (Nanomaterials) сравнительный анализ выполнен корректно, однако обсуждение механизма синергетического упрочнения могло бы быть расширено с указанием связи между дефектной структурой и наблюдаемыми механическими свойствами.<br>В статье по $TiAl(Si)N$ (Coatings) экспериментальная часть изложена детально, однако в разделе обсуждения следовало бы подробнее рассмотреть влияние Si на эволюцию текстуры и динамику роста градиентного покрытия.<br>В статьях, опубликованных в рекомендованных журналах РК, местами наблюдается сжатое изложение отдельных технических деталей, что снижает полноту представления методики для читателя.<br>В ряде статей выводы сформулированы достаточно кратко; расширение раздела выводов позволило бы выделить наиболее значимые научные результаты и их вклад в развитие тематики. |



|    |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 | <p>Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)</p> | <p>Статьи докторанта демонстрируют высокий научный уровень, подтверждающий сформированную научную школу в области тонкопленочных нитридных покрытий, наноконпозитов и градиентных структур. Работы охватывают полный цикл: от физико-химических закономерностей роста и фазообразования до трибологических характеристик, что соответствует требованиям к диссертации Ph.D.</p> <p>1. ACS Omega (2024): <i>WN/NbN multilayer coatings</i></p> <p>Статья отличается глубиной экспериментального анализа: автор исследует влияние отрицательного смещения подложки (–50...–200 В) на фазовый состав, текстурирование, количество <math>\epsilon</math>-NbN и механические свойства. Высокий уровень проявляется в связке «структура → свойство»: уменьшение доли <math>\epsilon</math>-NbN и рост текстуры (111) автор объясняет стабилизацией нанокристаллической структуры и улучшением трибологических характеристик. Механизм изменения износных процессов (oxidative → fatigue/adhesive) качественно описан и подтверждён экспериментом. По уровню представленных данных статья соответствует международным стандартам материаловедения.</p> <p>2. Coatings (2025): <i>TiAl(Si)N gradient coatings</i></p> <p>Научный уровень работы характеризуется применением композиционного градиента по Al и Si, что позволяет автору установить связь между толщиной, фазовой сегрегацией, твёрдостью и коэффициентом трения. Применение SEM, XRD, наноидентификация и трибологических испытаний выполнено корректно. Автор демонстрирует системность исследования: выявлен максимум твёрдости (~38 ГПа) при оптимальном балансе твёрдо-растворного упрочнения и наноконпозитной фазы. Работа выписывается в современную научную повестку разработки градиентных покрытий.</p> <p>3. Nanomaterials (2022): <i>WN/MeN (Me = Zr, Cr, Mo, Nb)</i></p> <p>Статья высокого уровня благодаря широкому охвату: четыре различных системы WN/MeN исследованы в одинаковых условиях CA-PVD, что позволяет проводить корректные сравнительные выводы. Выявлен комплекс факторов, обеспечивающих превосходные свойства WN/NbN - наноконпозитность, образование Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и WO<sub>3</sub> трибопленок, низкая</p> |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|    |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                   | <p>шероховатость. Статья демонстрирует способность автора работать на стыке эксперимента и теории.</p> <p>4. Vullein of Shakarim University (2024): WN/ZtN и многослойные наноконпозиты</p> <p>Обе статьи отражают качественную экспериментальную работу, направленную на физические закономерности формирования покрытий методом СА-RVD. Представлены закономерности влияния структуры решетки, параметров осаждения, зернограничных эффектов и ионной имплантации на твердость и H/E. Эти работы усиливают фундаментальную часть диссертации и дополняют международные статьи более детальным анализом процессов осаждения.</p> |
| 13 | <p>Решение<br/>официального<br/>рецензента<br/>(согласно пункту<br/>28 настоящего<br/>Типового<br/>положения)</p> | <p>Диссертационная работа Касымбаева А.В. «Исследование микроструктуры и трибо-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий» выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным исследованиям на соискание доктора философии (PhD), обладает научной новизной, актуальностью и высокой значимостью. Представленная работа заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки кадров специальности «8D05301 – Техническая физика».</p>                                                                                                        |

Официальный рецензент:

Доктор философии (PhD),  
ассоциированный профессор  
кафедры «Общая физика»  
Института энергетики и машиностроения имени А. Буркитбаева  
Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева

Аскарұлы Қыдыр

HR Қызметі

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АЛМАТЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ